

ESTUDO DAS VARIAÇÕES TEMPORAIS DAS FUNÇÕES-PESO EM MICROONDAS SOBRE O BRASIL, UTILIZANDO O MODELO ATM

Eduardo Jorge de Brito Bastos

Universidade do Vale do Paraíba, Rua Paraibuna, nº 75, Centro, 12245-020 – São José dos Campos, SP.

E-mail: ebastos@univap.br

José Ricardo Siqueira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.

E-mail: ricardo@met.inpe.br

Kioshi Hada

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.

E-mail: hada@met.inpe.br

ABSTRACT

The seasonal variations of the weighting functions of the ten Advanced Microwave Sounding Unit channels of Advanced TIROS-N/NOAA Operational Vertical Sounder (ATOVS) over Brazil were studied. The weighting functions were calculated from the Atmosphere Transmission at Millimetric and Submillimetric Wavelengths (ATM) model, were compared with those from the AMSU/ATOVS. Among the seven channels, three refer to the oxygen absorption lines around 57,29 GHz, that constitute the AMSU-A (channels 4, 5 e 6), while the other four are associated to water vapor absorption lines around 183,31 GHz, that compose the AMSU-B (channels 17, 18, 19 and 20). The temperature and humidity climatological vertical profiles of regions in Brazil were utilized. The results show consistency among the weighting functions for the majority of the AMSU-A channels. For the AMSU-B channels, a discrepancy among the weighting functions were observed. This suggests a more specific definition of the weighting functions for Brazil.

1 - INTRODUÇÃO

Com os sucessivos lançamentos dos satélites meteorológicos, a teoria de transferência radiativa tem adquirido uma grande aplicabilidade no estudo dos processos de interação da radiação com o sistema terra-atmosfera. Por meio dela, a técnica de sensoriamento remoto utilizando radiômetros foi desenvolvida com vários objetivos, em particular, de estimar perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera em qualquer ponto do globo terrestre, a partir de radiancias atmosféricas emitidas no espectro eletromagnético. Para tal finalidade, tornou-se importante o estudo da emissão e ou absorção pelos gases atmosféricos que são opticamente ativos, tais como o oxigênio, o ozônio, o gás carbônico, o vapor d'água e os outros gases minoritários, nas regiões espectrais do visível, ultravioleta, infravermelho ou das microondas. Com este enfoque, algumas técnicas e trabalhos importantes surgiram com o objetivo de inferir parâmetros atmosféricos e caracterizar as propriedades da superfície terrestre.

Em microondas, alguns trabalhos têm sido apresentados na literatura com o objetivo de estudar os processos físicos presentes na atmosfera dentro desta região espectral. Em particular, pesquisas com a finalidade de determinar funções-peso associadas a diferentes linhas de absorção dos gases atmosféricos em microondas. Com este enfoque, recentemente tornou-se disponível para a comunidade científica um algoritmo para o estudo da atmosfera terrestre a partir de observações espectroscópicas, denominado ATM (Atmosphere Transmission at Millimetric and Submillimetric Wavelengths - Transmissão Atmosférica em Comprimentos de Onda Milimétricos e Submilimétricos). O ATM foi elaborado para simular a emissão atmosférica em microondas (Pardo, 1996). Para tal, o modelo calcula os coeficientes de absorção dos principais gases atmosféricos, as opacidades e as funções-peso para cada nível de pressão atmosférica. Além disto, o modelo permite estimar temperaturas de brilho no topo da atmosfera, a partir de perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera, emissividade da superfície terrestre, ângulo de visada dos satélites, entre outros dados de entrada.

Pardo (1996) utilizou o modelo ATM para determinar funções-peso associadas às linhas de absorção em microondas dos principais gases atmosféricos, considerando atmosferas tropicais, de latitudes médias e subpolares. Esse autor observou grandes diferenças entre as curvas que representam as funções-peso obtidas para os 3 tipos de atmosfera. A partir desta avaliação, surgiu a questão a respeito da validade das funções-peso que são utilizadas por sensores orbitais em operação. Citam-se, por exemplo, os sensores operacionais utilizados na sondagem remota para a inferência de temperatura e umidade da atmosfera para diferentes regiões do globo terrestre, em especial a unidade AMSU do sistema ATOVS.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as funções-peso no espectro das microondas, associadas às linhas de absorção dos gases atmosféricos de maior contribuição nesta região espectral (oxigênio e vapor d'água), obtidas utilizando perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera para as 5 regiões do Brasil. Dentre elas, destacam-se as linhas de absorção do oxigênio em torno de 57,29 GHz e, principalmente, as do vapor d'água em torno de 183,31 GHz.

2 - DADOS E METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho consistem em perfis verticais climatológicos de temperatura e umidade de 5 das 11 estações de radiossondagem do Ministério da Aeronáutica do Brasil. Os dados das 11 estações do Brasil foram cedidos pelo IAE/CTA (Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro Técnico Aeroespacial). Estes dados foram produzidos em 1989 e consistem em médias climáticas mensais e anuais, para o período de 1963 a 1980, de estações consideradas como representativas das regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Para calcular as funções-peso associadas às principais linhas de absorção do oxigênio e do vapor d'água em microondas, foi utilizado o modelo de transferência radiativa em microondas ATM, desenvolvido para o ambiente UNIX. As funções-peso foram obtidas para os principais canais das unidades AMSU/A e AMSU/B do sistema ATOVS.

Utilizaram-se os perfis verticais climatológicos das estações de Manaus /AM, Natal /RN, Campo Grande /MS, São Paulo /SP e Porto Alegre /RS. Foi analisada a variação sazonal das funções-peso para cada região do Brasil, utilizando perfis climatológicos representativos dessas regiões e para 4 estações do ano (Dezembro, Janeiro e Fevereiro - DJF; Março, Abril e Maio - MAM; Junho, Julho e Agosto - JJA; e Setembro, Outubro e Novembro - SON).

Para diversos perfis verticais climatológicos foram feitos estudos comparativos com a finalidade de verificar as diferenças de altura e pressão mais significativas para cada contribuição das funções-peso normalizadas. Também foram verificadas as diferenças de temperatura para cada contribuição, adotando um mesmo perfil vertical de temperatura da atmosfera. As diferenças de temperatura entre as funções-peso foram verificadas com base na precisão de 1 K na temperatura de brilho do topo da atmosfera, detectada pelos sondadores do sistema ATOVS (Goodrum et al., 1998). Tal precisão corresponde a uma precisão de temperatura de cerca de 2 K na inferência de temperatura da atmosfera (Sullivan et al., 1998), válida para a unidade AMSU-A do ATOVS. Para a unidade AMSU-B, a precisão de 1 K na temperatura de brilho do topo da atmosfera corresponde a uma precisão de umidade da ordem de 10 % na inferência de umidade da atmosfera (Houghton, 1985).

3 - RESULTADOS

As Figuras 1 a 3 ilustram as funções-peso dos canais 4, 5 e 6 (referentes a linhas de absorção em torno de 57,29 GHz) da AMSU-A, respectivamente, obtidas para os perfis climatológicos de Manaus/AM, Natal/RN, Campo Grande/MS, São Paulo/SP e Porto Alegre/RS. Observa-se nos 3 canais uma consistência entre as funções-peso das 4 estações do ano de cada região do Brasil. Com isso, a função-peso anual representaria as variações sazonais das funções-peso de cada região do Brasil. A consistência entre as funções-peso das 4 estações do ano é proporcionada pela semelhança dos perfis verticais de temperatura das 4 estações. Isto indica que não houve diferenças de temperatura relevantes entre os perfis verticais climatológicos das 4 estações do ano. Conseqüentemente, a concentração vertical do oxigênio na atmosfera mantém-se uniforme para todas as regiões do País.

Para os 4 canais da AMSU-B, a configuração básica das funções-peso dos perfis climatológicos das 5 regiões brasileiras consiste em curvas de estações do ano mais úmidas (DJF e MAM) deslocadas na vertical em relação a curvas de estações mais secas (JJA e SON). A Figura 4 ilustra as funções-peso do canal 17 (associado a linha de absorção em torno de 89 GHz) para os perfis climatológicos de Manaus, Natal, Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre. Observam-se maiores deslocamentos entre as curvas sazonais de cada região e as curvas anuais. Para Manaus, a maior discrepância é apresentada pela FP de DJF, associada à diferença de altura de cerca de 0,6 km (≈ 50 hPa) para contribuições das funções-peso da ordem de 0,4. Tal discrepância ocorre na região da atmosfera acima de 3,5 km, cuja diferença de temperatura estimada é de aproximadamente 4 K. Da mesma forma, entre as FP anuais e as FP de MAM e SON de Natal, são estimadas diferenças de temperatura de aproximadamente 4 K, acima de 3 km. Para Campo Grande, a FP de DJF apresenta a mesma diferença de temperatura com a FP anual, porém a partir de 4 km, onde as contribuições das FP são menores que 0,2.

Os perfis climatológicos de São Paulo e Porto Alegre estabelecem a maior disparidade entre as funções-peso sazonais do canal 17 e as funções-peso anuais. Em ambas as regiões, são estimadas diferenças de altura de cerca de 0,7 km (≈ 50 hPa) entre a FP anual e de DJF, para cada contribuição das funções-peso. Tal disparidade é

verificada em praticamente toda a região da atmosfera que mais contribui para o sinal detectado pelo sensor deste canal.

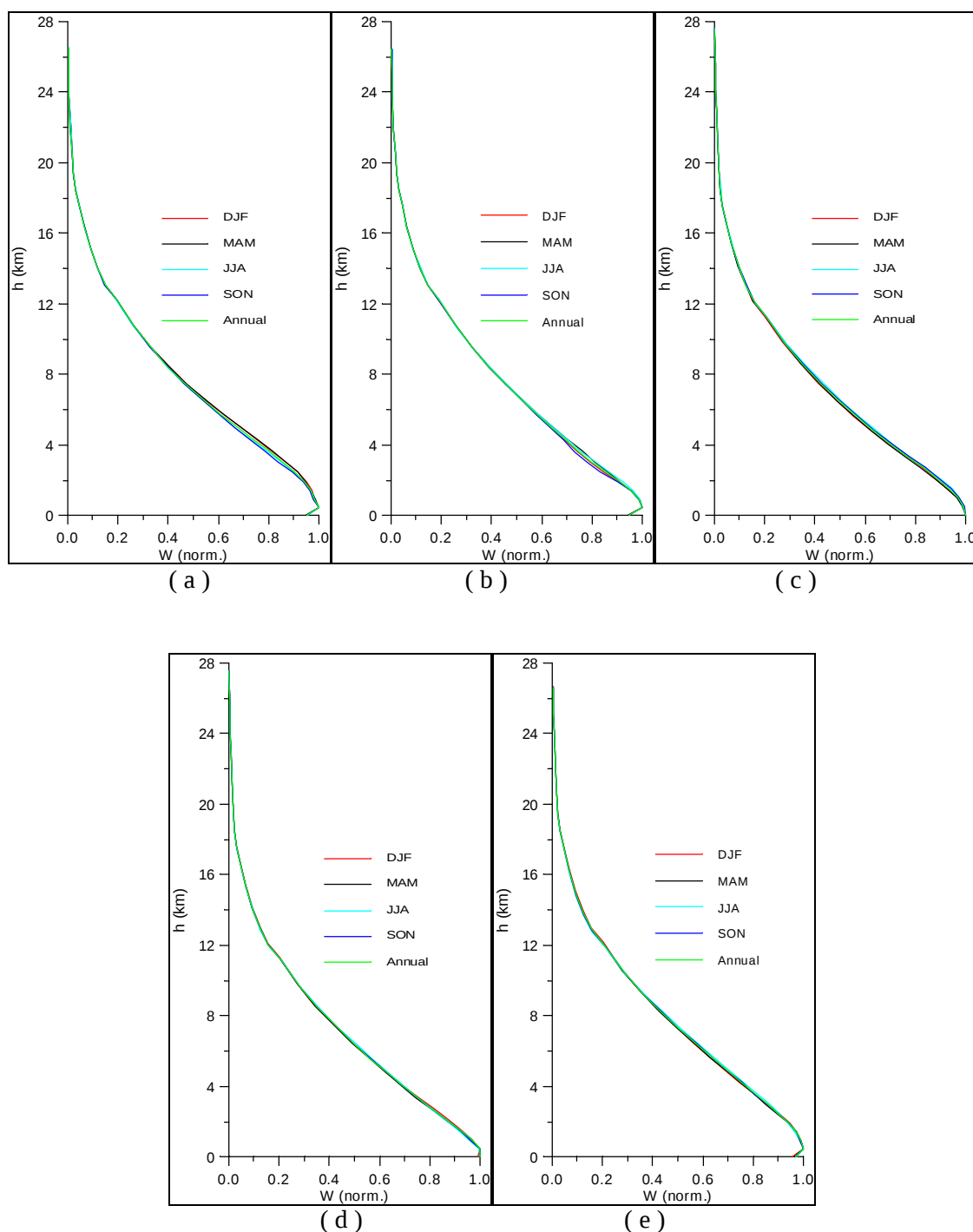


Figura 1 - Funções-peso normalizadas do canal 4 da AMSU-A para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

Nos canais 18, 19 e 20 (referentes a linhas de absorção em torno de 183,31 GHz), nota-se a mesma discrepância entre as funções-peso sazonais e as anuais (Figuras 5, 6, e 7, respectivamente) para as 5 regiões do Brasil. Para o canal 18, a FP de JJA de Manaus é a que apresenta maiores diferenças, estendendo-se por quase toda a região da atmosfera que contribui para o sinal do sensor. Embora exibam máximos em torno de 7,4 km ($\cong$ 420 hPa), diferenças de altura de até 1 km ($\cong$ 50 hPa) são verificadas entre as FP de JJA e anual, para cada contribuição das FP. Conseqüentemente, são estimadas diferenças de temperatura da ordem de 4 a 6 K. Para Natal, os perfis climatológicos de MAM e SON estabelecem maiores diferenças entre estas funções-peso e a FP anual, na região da atmosfera entre 2 e 7 km. Neste caso, a diferença de temperatura para cada contribuição das FP também é

bem maior que 2 K. O mesmo ocorre com os perfis de Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre, associados às FP de DJF e JJA das 3 localidades. Neste caso, uma diferença de altura entre os máximos de cerca de 1 km ($\cong 50$ hPa) é verificada entre a FP anual e as FP de DJF e JJA para cada região.

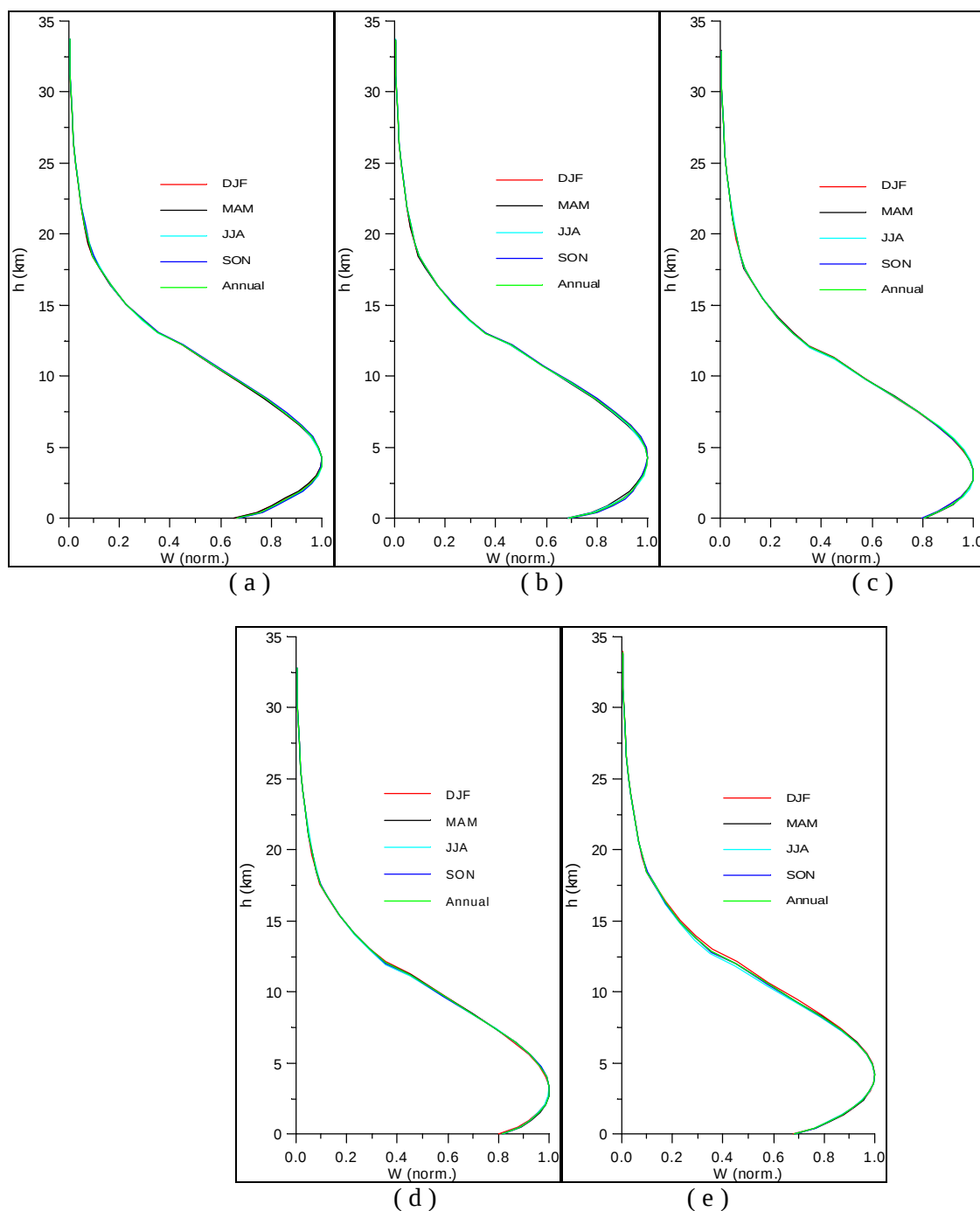


Figura 2 - Funções-peso normalizadas do canal 5 da AMSU-A para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

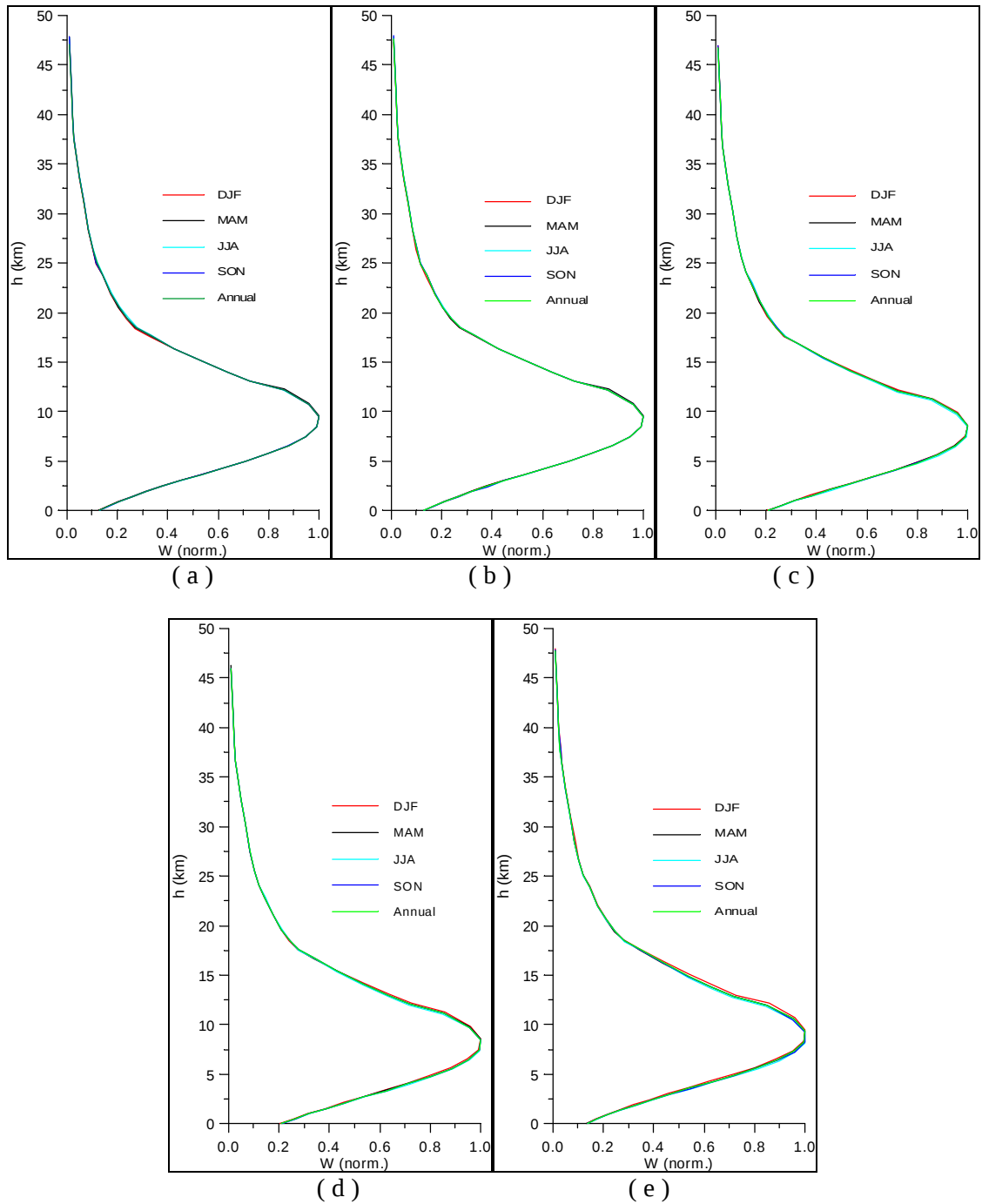


Figura 3 - Funções-peso normalizadas do canal 6 da AMSU-A para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

Nos canais 18, 19 e 20, nota-se a mesma discrepância entre as funções-peso sazonais e as anuais (Figuras 6, 7 e 8, respectivamente) para as 5 regiões do Brasil. Para o canal 18, a FP de JJA de Manaus é a que apresenta maiores diferenças, estendendo-se por quase toda a região da atmosfera que contribui para o sinal do sensor. Embora exibam máximos em torno de 7,4 km (≈ 420 hPa), diferenças de altura de até 1 km (≈ 50 hPa) são verificadas entre as FP de JJA e anual, para cada contribuição das FP. Consequentemente, são estimadas diferenças de temperatura da ordem de 4 a 6 K. Para Natal, os perfis climatológicos de MAM e SON estabelecem maiores diferenças entre estas funções-peso e a FP anual, na região da atmosfera entre 2 e 7 km. Neste caso, a diferença de temperatura para cada contribuição das FP também é bem maior que 2 K. O mesmo ocorre com os perfis de Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre, associados às FP de DJF e JJA das 3 localidades. Neste caso, uma diferença de altura entre os máximos de cerca de 1 km (≈ 50 hPa) é verificada entre a FP anual e as FP de DJF e JJA para cada região. As FP anuais das 3 regiões apresentam máximos em aproximadamente 6,5 km (≈ 420 hPa em São Paulo e Campo Grande; ≈ 470 hPa em Porto Alegre). Analogamente, para o canal 19, as FP anuais de Manaus, Natal,

Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre apresentam máximos em torno de 5,7 km ($\cong$ 520 hPa), 5 km ($\cong$ 570 hPa), 4 km ($\cong$ 570 hPa), 4 km ($\cong$ 570 hPa) e 4,3 km ($\cong$ 620 hPa), respectivamente. No canal 20, os máximos das funções-peso de Manaus, Natal, Campo Grande, São Paulo e Porto Alegre estão em torno de 4,3 km ($\cong$ 620 hPa), 2,5 km ($\cong$ 770 hPa), 2,8 km ($\cong$ 670 hPa), 2,1 km ($\cong$ 720 hPa) e 2,4 km ($\cong$ 770 hPa), respectivamente.

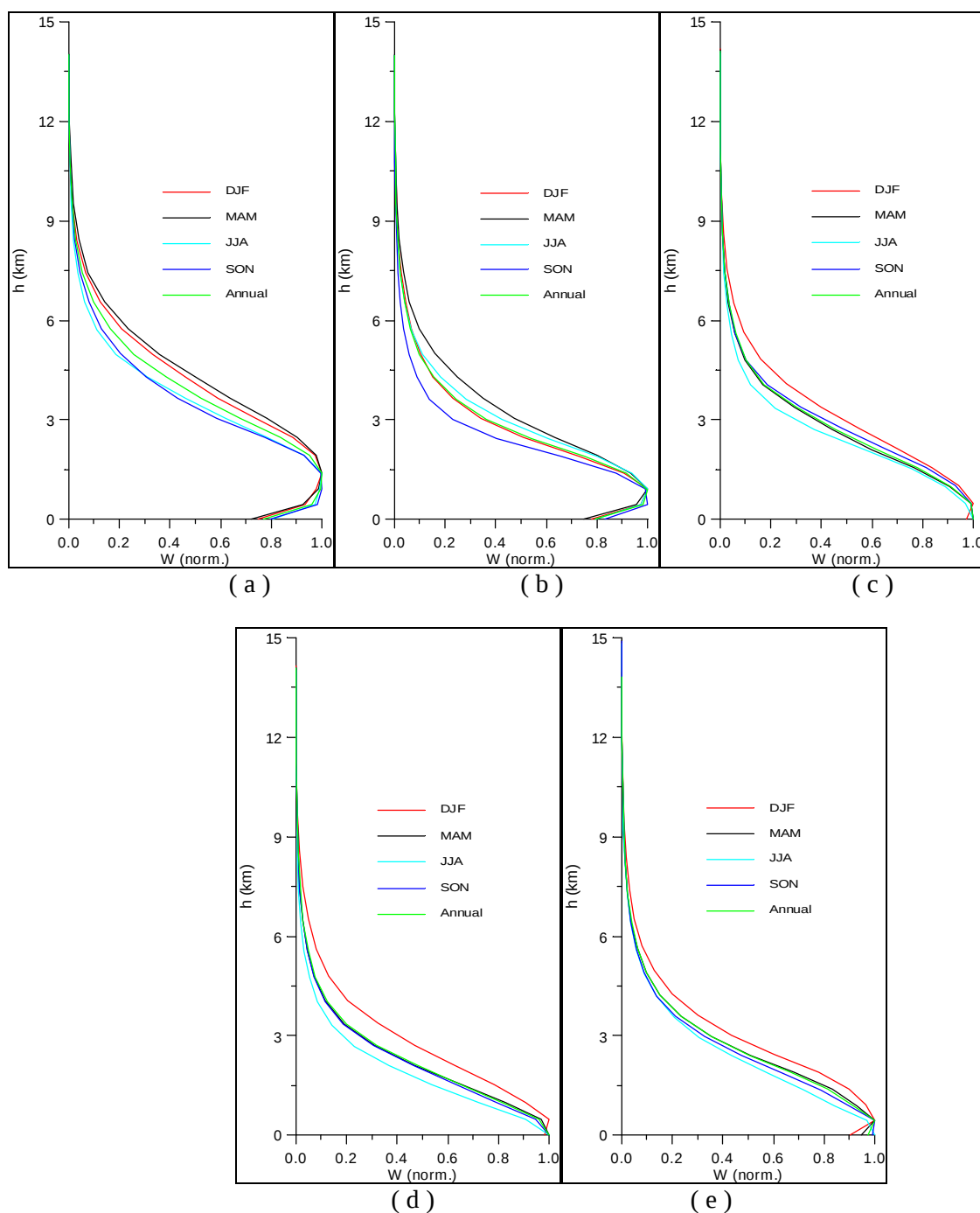


Figura 4 - Funções-peso normalizadas do canal 17 da AMSU-B para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

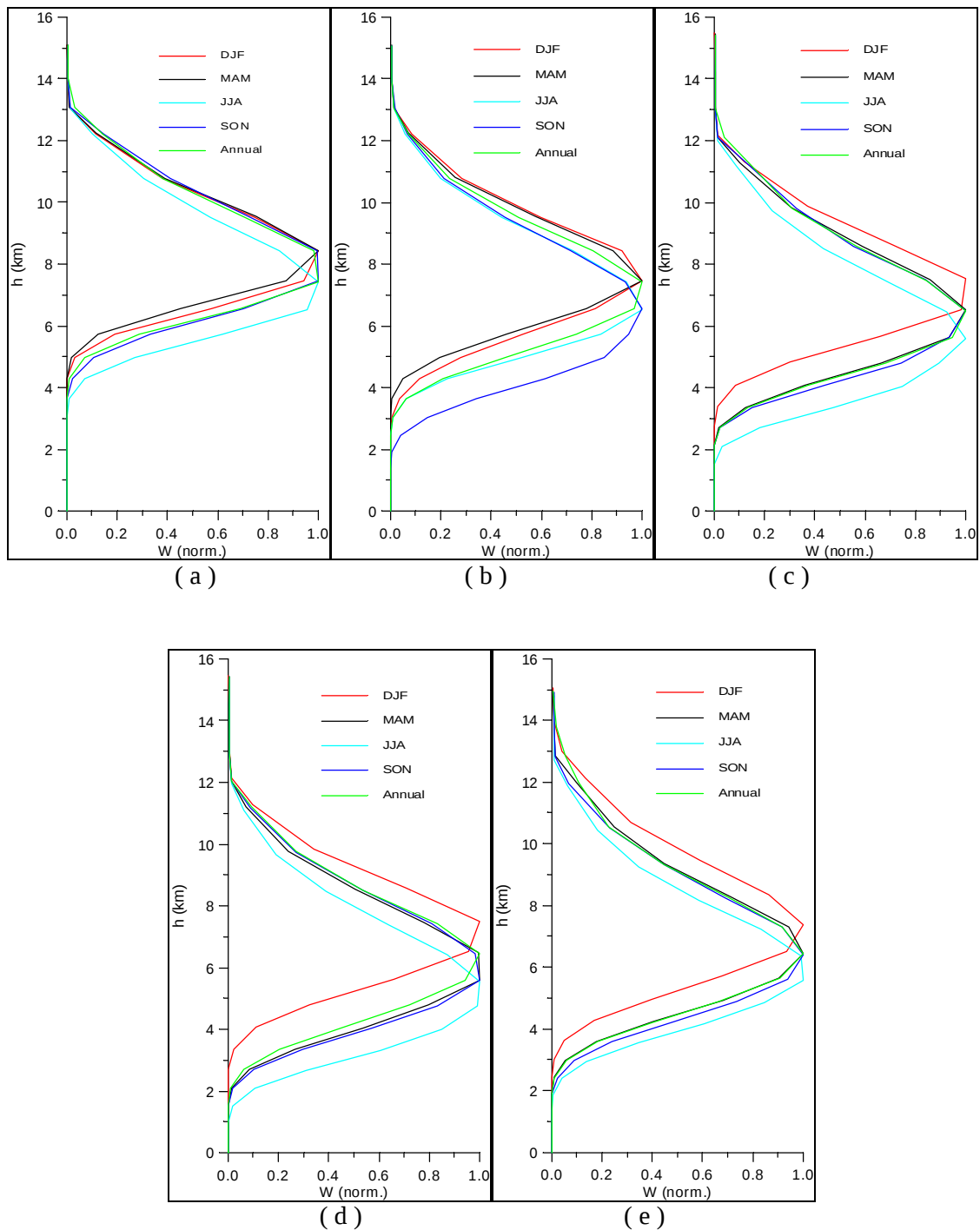


Figura 5 - Funções-peso normalizadas do canal 18 da AMSU-B para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

Nota-se que para os canais da AMSU-B não é viável definir uma função-peso anual para representar as variações sazonais das funções-peso de cada região do Brasil. Como a concentração vertical do vapor d'água na atmosfera sofre grandes alterações de uma estação do ano para outra no Brasil, as funções-peso dos canais do vapor são significativamente modificadas de uma estação do ano para outra.

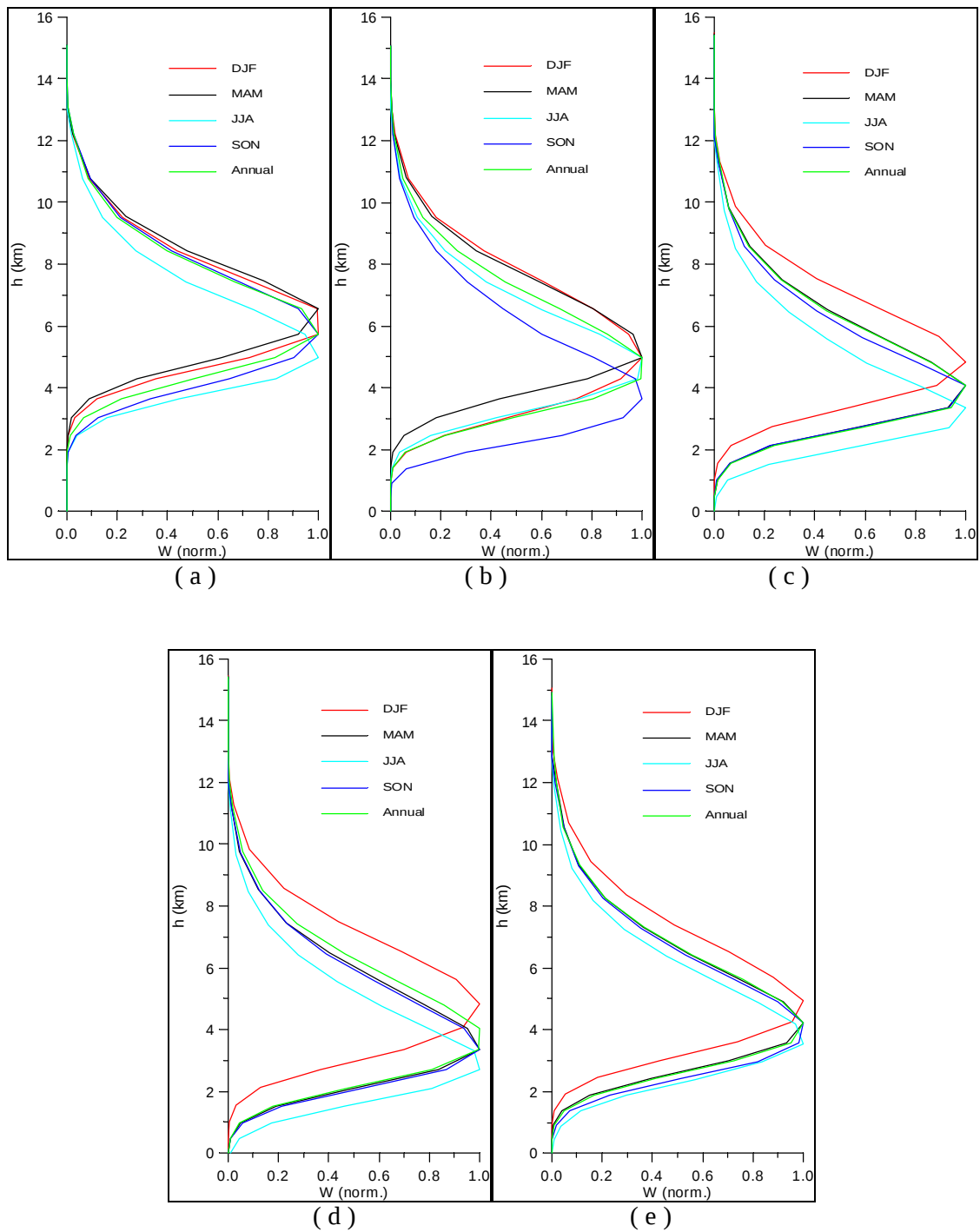


Figura 6 - Funções-peso normalizadas do canal 19 da AMSU-B para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

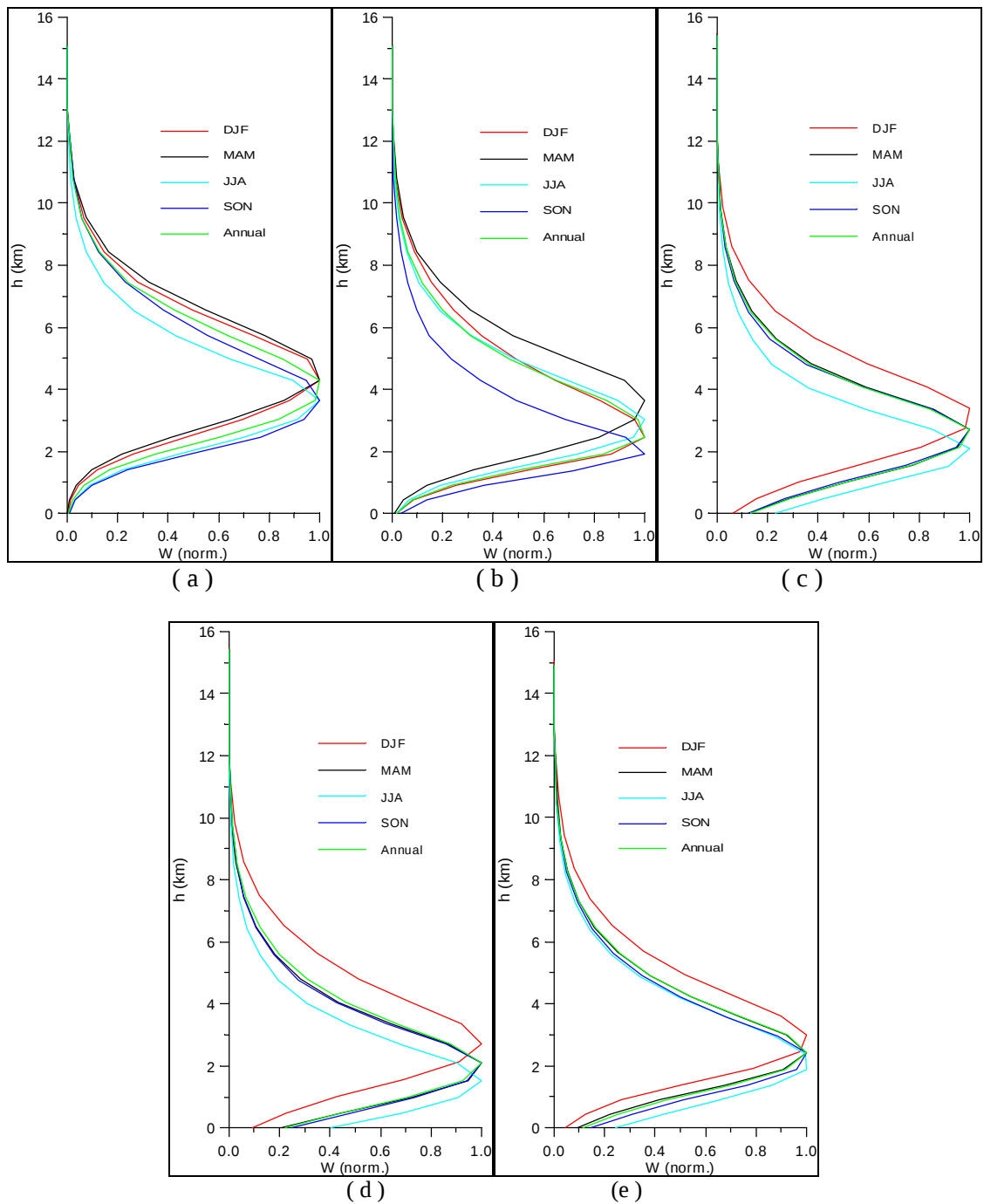


Figura 7 - Funções-peso normalizadas do canal 20 da AMSU-B para 4 estações do ano e média anual dos perfis climatológicos de Manaus/AM (a), Natal/RN (b), Campo Grande/MS (c), São Paulo/SP (d) e Porto Alegre/RS (e).

4 - CONCLUSÕES

Os estudos indicam que certos cuidados devem ser tomados na utilização de funções-peso da AMSU/ATOVS em aplicações atmosféricas voltadas para o Brasil. A padronização de funções-peso para o País pode acarretar erros de precisão, principalmente nos canais associados às fortes linhas de absorção do vapor d'água, que é um gás de concentração muito variável na atmosfera. Para eles, é frequentemente difícil definir uma função-peso (média) que represente as 5 regiões do Brasil. Em alguns casos, nem mesmo funções-peso específicas para as regiões tropicais ou de latitudes médias do País são viabilizadas. As variações sazonais das funções-peso nos canais do vapor também são acentuadas, tornando discrepante o uso de funções-peso anuais para representar as 4 estações do ano de cada região do Brasil. Como consequência de todas as diferenças mencionadas, poder-se-ia obter diferenças de temperatura muito acima da tolerável na inferência de perfis verticais de temperatura da atmosfera promovida pela AMSU-A (aproximadamente 2 K). Da mesma forma, a AMSU-B proporcionaria diferenças de

umidade na inferência de perfis verticais de umidade da atmosfera muito acima das normalmente aceitáveis, que são de aproximadamente 10 %.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Goodrum, G.; Kidwell, K.B.; Winston, W. **NOAA KLM User's Guide**. [online].
<<http://perigee.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm>>. Abr. 1998.

Greenwald, T. **AMSU Weighting Functions**. [online]. <<http://amsu.cira.colostate.edu>>. Dez. 1998.

Houghton, D.D. **Handbook of Applied Meteorology**. Wisconsin: John Wiley and Sons, 1985. 1461p.

Instituto de Aeronáutica e Espaço - Centro Técnico Aeroespacial (IAE - CTA). **Médias Climáticas Mensais de Sondagens Atmosféricas**. São José dos Campos, 1989.

Pardo, J.R. **Études de l'atmosphère terrestre au moyen d'observations dans les longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques**. Paris. 202p. Dissertação (Doutorado em Astrofísica e Técnicas Espaciais) - Université PARIS VI - Universidad Complutense de Madrid, 1996.

Sullivan, J.; Gandin, L; Gruber, A.; Baker, W. Observation Error Statistics for NOAA-10 temperature and highs retrievals. **Monthly Weather Review**, v.121, p. 2578-2587. 1998